



NUMERICAL RESULTS FOR OPTIMIZING THE PARAMETERS OF A COMBINED CENTRIFUGAL FILTER OF THE UZTE16M DIESEL LOCOMOTIVE

Kasimov Obidzhon Toirdzhonovich¹

Keldibekov Zokirbek Olloberdievich²

¹candidate of technical sciences, associate professor of the Department of "Locomotives and locomotive equipment",

²assistant of the Department of "Locomotives and locomotive equipment", State Transport University, Uzbekistan, Tashkent

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18454179>

ARTICLE INFO

Received: 24th January 2026

Accepted: 30th January 2026

Online: 31st January 2026

KEYWORDS

Diesel engines of diesel locomotives, diesel oil system, centrifugal oil filter of a diesel locomotive, the process of cleaning diesel locomotive oil in filters with optimization of operating parameters, a condition for minimizing operating costs, algorithm, program for the MATHCAD 15 programming environment.

ABSTRACT

The article presents numerical results on the optimization of the parameters of the combined centrifugal filter of the UzTE16M diesel locomotive, allowing to evaluate the efficiency of its operation with changes in the intensity of centrifugal filtration, as well as the quality of the fuel and oil used during operation; the numerical studies were carried out in the MATHCAD 15 programming environment.

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Касимов Обиджон Тоирджонович¹

Келдибеков Зокирбек Оллобердиевич²

¹доктор (PhD) технических наук, доцент кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство"

²ассистент кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство", Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18454179>

ARTICLE INFO

Received: 24th January 2026

Accepted: 30th January 2026

Online: 31st January 2026

ABSTRACT

В статье представлены численные результаты по оптимизации параметров комбинированного центробежного фильтра дизеля тепловоза UzTE16M, позволяющие оценить эффективность его работы при изменении интенсивности центробежного фильтрования, а также качества



KEYWORDS

Дизельные двигатели
локомотивов, дизельная
масляная система,
центробежный масляный
фильтр дизеля тепловоза,
процесс очистки масла
тепловозных дизелей в
фильтрах с оптимизацией
эксплуатационных
параметров, условие
минимизации
эксплуатационных
расходов, алгоритм,
программа для среды
программирования
MATHCAD 15.

применяемого топлива и масла в процессе
эксплуатации, численные исследования проведены в
среде программирования MATHCAD 15.

Масляные фильтры для дизельных двигателей, особенно тех, которые используются в тепловозах, играют важную роль в поддержании их надёжной работы. Эти фильтры очищают смазку от загрязнений, что предотвращает преждевременный износ и повреждение двигателя [1÷3].

Одним из основных видов износа деталей дизелей является абразивный износ. От качества фильтрации дизельного масла в большей степени зависит наличие в нем абразивных примесей. В связи с этим актуальными являются исследования по изучению процесса очистки масла тепловозных дизелей в фильтрах с оптимизацией параметров по выбору оптимального качества отсева частиц разных размеров в процессе эксплуатации. Оптимизация параметров комбинированного масляного фильтра осуществлена по условию минимизации эксплуатационных расходов, связанных с эффективностью функционирования системы очистки масла в дизелях [4÷6].

Условные эксплуатационные расходы тепловозного дизеля \mathcal{E} , на которые влияет эффективность комбинированного центробежного фильтра (ФЦМК), можно представить зависимостью

$$\mathcal{E} = A_{\text{и}} \cdot \text{И} + B_{\text{т}} \cdot T_{\text{ф}\mathcal{E}}^1 \cdot 10^4 \quad (1)$$

где $A_{\text{и}}$ – коэффициент, обуславливающий расходы на сменно-запасные части, моточистку и другие коррелирующие с износом (показателем И) дизеля тепловоза затраты; $B_{\text{т}}$ – коэффициент, определяющий затраты на полно- и частичнопоточные ФЭ и масло, связанные с эффективностью комбинированного центробежного фильтра (ФЦМК) и системы смазки в целом, хорошо коррелирующие с $T_{\text{ф}\mathcal{E}}$.

Обобщение результатов эксплуатационных испытаний маслоочистительного комплекса показало, что для комбинированного фильтрования можно принять



$A_{\text{и}} = 0, 5$ и $B_T = 0, 5$ [5]. Базой отчета ($\mathcal{E} = 100 \%$) принята система ДЭТМО со значениями факторов на основном уровне, при котором обеспечивается функционирование дизеля с ресурсными и экономическими показателями, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 10448-80 [1,2,7].

Основу предлагаемого моделирования составляют зависимости по скорости изнашивания I основных деталей дизелей локомотивов и срока службы $T_{\text{ФЭ}}$ центробежного фильтра, полученные путём обобщения экспериментальных результатов [4]. Эти показатели в некоторой степени могут совокупно характеризовать эффективность комбинированного центробежного масляного фильтра при его функционировании в системе смазки дизеля. Системное взаимодействие фильтра со звеньями системы «дизель-топливо-масло» подтверждает, что существуют значения Δ_H и g_{φ} , при которых ресурсные и экономические, по расходу масла и сроку службы фильтрующих элементов, показатели дизеля самые высокие.

После аппроксимации в выражении (1) второго слагаемого с обратной на прямопропорциональную зависимость расходов по маслу от $T_{\text{ФЭ}}$ в выражении (2) формула для расчета \mathcal{E} может быть представлена следующим образом

$$\begin{aligned} y_{\mathcal{E}} = & 100,22 - 8,53 \Delta_H - 2,86 g_{\varphi} + 57,94 p_{me} + 116,1 K_T - \\ & - 57,18 M + 0,04 \cdot \Delta_H \cdot g_{\varphi} + 0,35 \cdot \Delta_H \cdot p_{me} - 0,81 \cdot \Delta_H \cdot K_T + \\ & + 1,3 \cdot \Delta_H \cdot M - 0,53 \cdot p_{me} \cdot g_{\varphi} - 0,64 \cdot K_T \cdot g_{\varphi} + 0,36 \cdot M \cdot g_{\varphi} + \\ & + 18,1 \cdot K_T \cdot p_{me} - 9,41 \cdot M \cdot p_{me} - 12,06 \cdot K_T \cdot M + 0,11 \cdot \Delta_H^2 + \\ & + 0,02 \cdot g_{\varphi}^2 + 9,39 \cdot p_{me}^2 - 16,0 \cdot K_T^2 + 4,82 \cdot M^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Перевод факторов в натуральный вид на базе матрицы планирования позволяет представить зависимость (2) в виде

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & 164,5 - 8,53 \Delta_H - 2,86 g_{\varphi} + 57,94 p_{me} + 116,1 K_T - \\ & - 57,18 M + 0,04 \cdot \Delta_H \cdot g_{\varphi} + 0,35 \cdot \Delta_H \cdot p_{me} - 0,81 \cdot \Delta_H \cdot K_T + \\ & + 1,3 \cdot \Delta_H \cdot M - 0,53 \cdot p_{me} \cdot g_{\varphi} - 0,64 \cdot K_T \cdot g_{\varphi} + 0,36 \cdot M \cdot g_{\varphi} + \\ & + 18,1 \cdot K_T \cdot p_{me} - 9,41 \cdot M \cdot p_{me} - 12,06 \cdot K_T \cdot M + 0,11 \cdot \Delta_H^2 + \\ & + 0,02 \cdot g_{\varphi}^2 + 9,39 \cdot p_{me}^2 - 16,0 \cdot K_T^2 + 4,82 \cdot M^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Взятие производных $\frac{d\mathcal{E}}{d\Delta_H}$ и $\frac{d\mathcal{E}}{dg_{\varphi}}$ в уравнении (3) и приравнивание их к нулю позволило получить следующие выражения для нахождения оптимальных параметров комбинированного центробежного фильтра (ФЦМК)

$$D_{opt} = 38,8 - 0,182 \cdot g_{\varphi} - 1,58 \cdot p_{me} + 3,68 \cdot K_T - 5,91 \cdot M; \quad (4)$$

$$g_{\varphi max} = 71,5 - \Delta_H + 13,21 \cdot p_{me} + 16 \cdot K_T - 9 \cdot M. \quad (5)$$

Определяемый по (5) показатель $g_{\varphi max}$ характеризует максимальное значение интенсивности очистки частичнопоточных ФЭ. Дальнейшее ее повышение не дает экономического эффекта, так как сопровождается стабилизацией изнашивания дизеля тепловоза. При этом расходы на частичнопоточные ФЭ при комбинированном фильтровании с увеличением g_{φ} растут.

Анализ выражения (4) показывает, что дополнительное фильтрование масла по частичнопоточной схеме очистки способствует снижению показателя D_{opt} полнопоточных ФЭ. В диапазоне варьирования g_{ϕ} от 0 до 80 при основном уровне остальных факторов dD_{opt} составляет 14,4 мкм. Оптимальное значение D_H при среднем значении рассматриваемых факторов равно 33,0 мкм (рисунок 1). Если факторы находятся на облегчающих или утяжеляющих функционирование СС уровнях D_{opt} соответствует 25,86 и 40,2 мкм.

Ухудшение качества топлива способствует повышению показателя D_{opt} . В рассматриваемом диапазоне варьирования K_T изменение оптимального значения номинальной тонкости отсева при значениях остальных факторов на основном уровне соответствует 8,3 мкм. Дрейф этого показателя составляет чуть более 58 % изменения D_{opt} при варьировании g_{ϕ} .

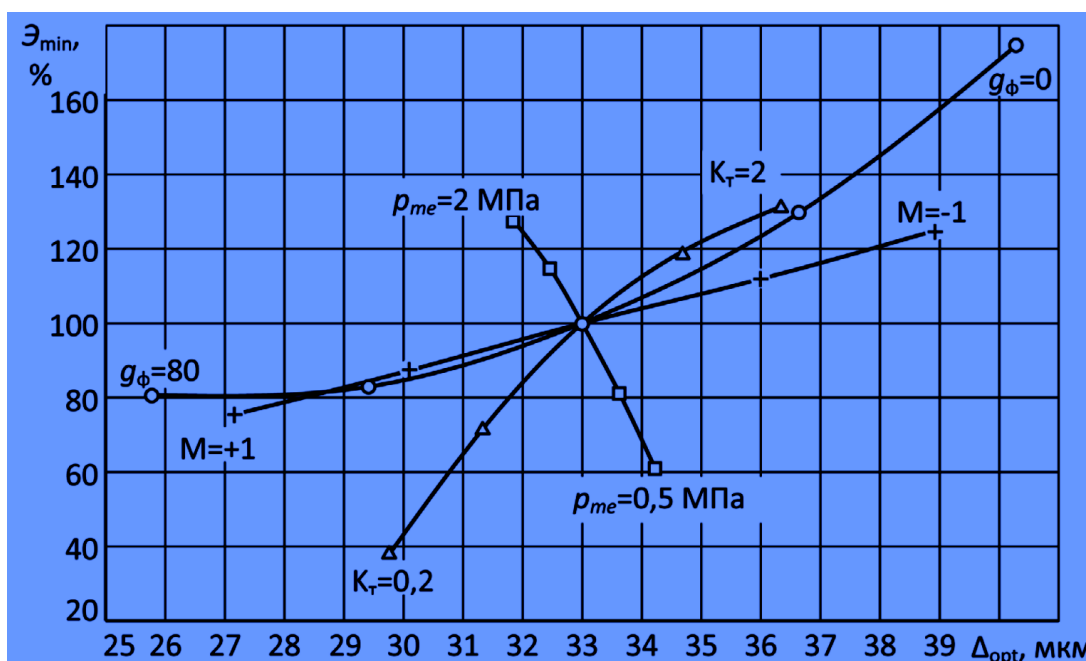


Рисунок 1. Зависимость оптимальной тонкости отсева ФЦМК и ε_{min} от интенсивности центробежного фильтрования, форсировки тепловозного дизеля, качества применяемого топлива и масла.

Форсировка дизеля заметного влияния на изменение D_{opt} не оказывает. Хотя экспериментом установлено снижение показателя D_{opt} почти на 3 мкм при форсировке дизеля по среднему эффективному давлению от 0,5 до 2 МПа. Такое явление объясняется возрастанием требований к качеству очистки масла при увеличении механической напряженности работы трибосопряжений форсированного дизеля тепловоза.

Смещение D_{opt} центробежного фильтра в сторону понижения при дополнительном фильтровании масла частичнопоточными фильтрующими элементами (ФЭ) обусловлено уменьшением грязевой нагрузки на него. При этом в результате одновременного снижения скорости изнашивания дизеля и роста $T_{ФЭ}$

оптимальное значение D_H смещается в сторону меньшего значения этого показателя.

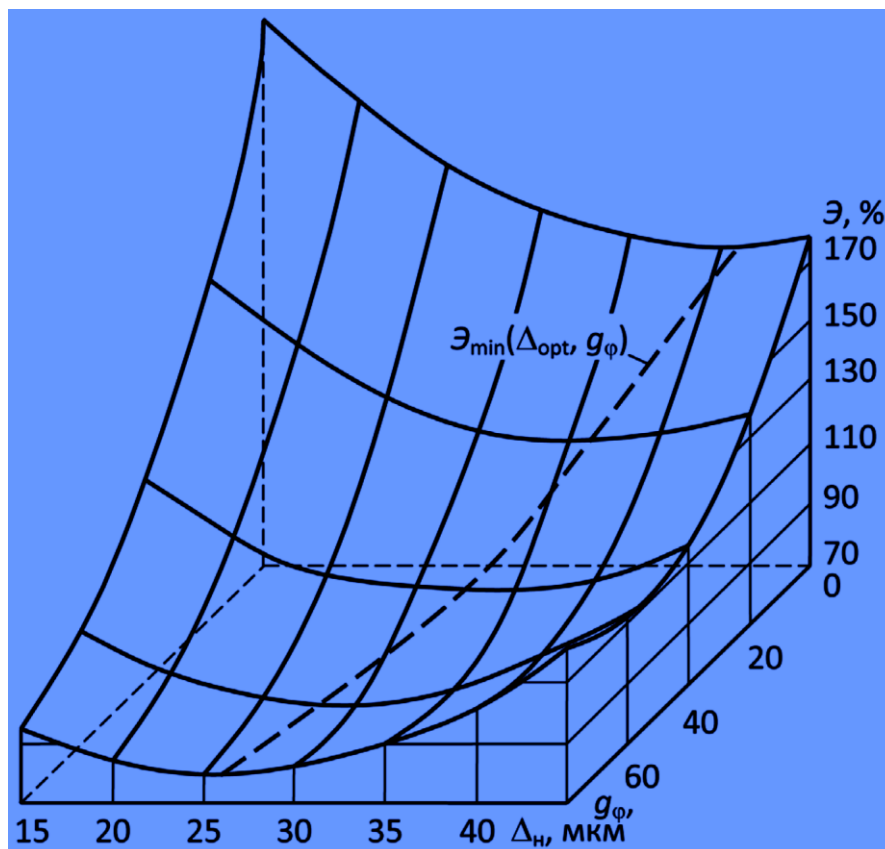


Рисунок 2. Поверхность функции отклика комбинированного маслоочистительного комплекса системы «фильтр-дизель-топливо-масло» (ФДТМ) дизеля тепловоза.

На основании сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований и численного моделирования комплекса системы «фильтр-дизель-топливо-масло» (ФДТМ) можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Моделированием эффективности комбинированного фильтрации масла в реальных условиях эксплуатации комбинированного центробежного масляного фильтра (ФЦМК) в дизелях локомотивов на примере дизеля 1А-5Д49 (для дизель-агрегата 1А-9ДГ) тепловоза УзТЕ16М выявлена аппроксимирующая зависимость скорости изнашивания двигателей I и срока службы полнопоточных фильтрующих элементов $T_{фэ}$ от номинальной тонкости отсева Δ_H и интенсивности глубокой очистки масла g_ϕ от нерастворимых примесей (НРП). Полученные зависимости масштабированы на условия применения комбинированного центробежного масляного фильтра в дизелях тепловозов с форсировкой по среднему эффективному давлению от 0,5 до 2 МПа при использовании топлив и масел разного качества.

2. Объединением показателей I и $T_{фэ}$ в единый экономический критерий \mathcal{E} осуществлена оптимизация комбинированного центробежного масляного фильтра (ФЦМК) по номинальной тонкости отсева D_{opt} при фильтровании



полного потока масла в зависимости от интенсивности его очистки частичнопоточными фильтрующими элементами (ФЭ), форсировки тепловозного дизеля, качества применяемых топлив и масел. Выявленная оптимальная тонкость отсева D_{opt} находится в диапазоне 25,8 – 40,2 мкм и при показателях g_φ , p_{me} , K_T и M на среднем уровне соответствует 33,0 мкм. Утяжеление условий функционирования ФЦМК способствует росту D_{opt} . При уменьшении грязевой нагрузки на полнопоточные фильтрующие элементы (ФЭ) оптимальная величина D_H снижается.

3. На основании проведенного моделирования получена зависимость максимальной интенсивности $g_{\varphi max}$ очистки масла частичнопоточными ФЭ от факторов D_H , p_{me} , K_T и M , при которой влияние дополнительного фильтрования на показатель \mathcal{E} ослабевает и дальнейшее увеличение g_φ нерационально. Предложено этот показатель при работе ФЦМК в зоне от 40 до $g_{\varphi max}$ ограничивать по условию задания такой интенсивности фильтрования, чтобы не достигался браковочный показатель масла по содержанию нерастворимых продуктов (НРП).

4. Ухудшение качества топлива способствует более интенсивному поступлению в масло нерастворимых продуктов (НРП). При этом возрастает абразивность и снижается дисперсность нерастворимой фазы загрязнений. Эти факторы способствуют интенсификации изнашивания деталей ДВС и снижают срок службы ФЭ. Реакция комбинированного центробежного фильтра (ФЦМК) на эти явления, как показали результаты моделирования, проявляется в повышении значений D_{opt} .

5. Поверхность функции отклика \mathcal{E} в зависимости от факторов D_H и g_φ иллюстрирует рисунок 1. Она приведена для дизеля 1А-5Д49 (для дизель-агрегата 1А-9ДГ) тепловоза УзТЕ16М с $p_{me} = 1,25$ МПа при его работе на маслах М14В2 и М14Г2 (цл20) (ГОСТ 12337-84) [9,10,14]. Для данных масел (цл20) $M = 0$, $K_T = 1$.

6. На рисунке 2. построена поверхность функции отклика комбинированного маслоочистительного комплекса системы «фильтр-дизель-топливо-масло» (ФДТМ) дизеля тепловоза в координатах $\mathcal{E} (D_H, g_\varphi)$ по уравнению (3). Она имеет форму вогнутой чаши. Наибольшее значение \mathcal{E} наблюдается по координатным углам за исключением точки с параметрами $D_H = 20$ мкм и $g_\varphi = 80$.

Наибольшее изменение \mathcal{E} в поле факторного пространства наблюдается при $D_H = 20$ мкм при увеличении g_φ от 0 до 80. Для $D_H = 45$ мкм в этом же диапазоне изменения интенсивности очистки \mathcal{E}_{min} наблюдается при $g_\varphi = 52$.

7. Зона наиболее выгодных режимов работы комбинированного центробежного масляного фильтра (ФЦМК) находится в диапазоне $D_H = 25,8-40,2$ мкм. С увеличением g_φ , что благоприятно сказывается на \mathcal{E} , значение показателя D_{opt} уменьшается, т. е. требуемая для эффективной очистки масла номинальная тонкость отсева полнопоточных ФЭ должна возрастать (тонкость отсева повышается с уменьшением значений показателя D_H). Этому процессу



способствует снижению грязевой нагрузки на полнопоточный ФЭ, что наблюдается при повышении g_{φ}

References:

1. Теория и конструкция локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г.С. Михальченко, В.Н. Кашников, В.С. Коссов, В.А. Симонов; под ред. Г.С. Михальченко. - М.: Маршрут, 2006. - 584 с.
2. Качанова Л. С. Совершенствование очистки отработанного моторного масла центробежными аппаратами. // Дисс. на соискание степени к.т.н.: 05.20.03. – Зерноград, 2004. – 152 с.
3. Овчаренко С. М. Моделирование работы и оценка эффективности систем очистки моторного масла различных серий тепловозов. / С. М. Овчаренко // Вестник РГУПС / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. - Ростов-на-Дону, 2006. - № 1. - С. 21 - 27.
4. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Методика расчета масляного фильтра дизеля тепловоза. // Eurasian Journal of mathematical theory and computer sciences. / Innovative Academy Research Support Center. Volume 5, Issue 6, June 2025. – P.17-21. <https://doi.org/10/5281/zenodo.15706545>
5. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Математическая модель для моделирования работы центробежного масляного фильтра дизеля тепловоза. // Eurasian Journal of Academy Research. Volume 5, Issue 8, August 2025. – P.82-88. <https://doi.org/10/5281/zenodo.17035659>
6. Касимов О.Т., Келдибеков З.О. Математическая модель для численных исследований крутильных колебаний деталей центробежного масляного фильтра дизелей тепловозов. // Eurasian Journal of Academy Research. Volume 5, Issue 10, October 2025. – P.5-10. <https://doi.org/10/5281/zenodo.17292524>
7. Ибрагимов М.А., Космодамианский А.С., Хромова Г.А. Методология научной работы: учебное пособие. - М.: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2017.-191 с.